

研究成果報告書

研 究 題 目		トレーニングデータを必要としない歯車の歯面損傷の早期検知方法の開発	実 施 年 度
			平成 29 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学大学院工学研究科	
	氏 名	池 条 清 隆 印	
1. 研究の目的・背景 現在、効率的かつ経済的なプラントの稼働を実現するため、メンテナンスの主流が TBM (Time-Based Maintenance, 時間基準保全) から CBM (Condition-Based Maintenance, 状態基準保全) に移っている。そのためには、プラントを構成する個々の機械装置の異常を診断する手法の高度化と新しい技術の開発が求められている。特に、故障原因の多くを占める歯車や軸受などの回転要素の損傷を的確かつ早期に検出する方法の要望が高い。特に、歯車装置の破損は重大な事故、経済的損失を招くおそれがある。そのため、運転中の歯車の損傷を初期の段階で検知することが求められている。歯車装置の歯の折損やピッチングなどの歯面損傷の診断方法としては、SOAP (潤滑油分析) 法、AE (アコースティック・エミッション) 法、振動をウェーブレット変換等で分析する方法、以上の方法を組合せたものなどがある。しかしながら、現状の手法においては未だ決定的なものはない。 また、これらの方法は事前に収集した正常運転時のデータと歯面損傷が発生したときのデータを比較することにより、異常診断を行っている。そのため、正常運転時のトレーニングデータ (学習データ) を必要とする。本研究では、多大の労力と時間を要する事前のトレーニングデータの収集が不要であり、直ちに診断ができる歯車装置の歯面損傷の発生を精度良く早期に検出する方法を開発することを目的とする。 過去の研究では、予め歯面に傷を付けた歯車を用いて、軸受台の振動加速度波形に同期平均法を適用することにより、歯車のかみあい以外の成分を除去した。そして、その同期平均処理された波形を歯車の 1 ピッチごとに分割し、歯面に傷が有るものの振動波形と歯面に傷が無い正常な歯面の振動波形を比較することにより歯面損傷の検出を行った。本研究では、歯車の歯面疲労試験を行い、運転歯面損傷と振動加速度波形の関係を検討し、より実用に供することができる検出方法確立するために、以下のことを行う。 (1) 歯面に損傷(異常)がある場合の歯車の振動波形と正常時の波形の差異を理論的に明らかにする。 (2) (1)で明らかにした差異を用いて、損傷を診断する方法を開発する。 (3) 開発した診断方法の有効性を検証する。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

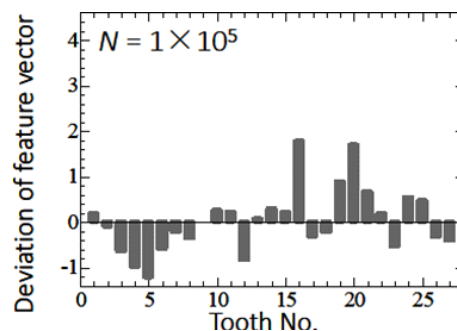
(1) 歯面損傷がある歯車の振動の理論的解析

歯車の歯面損傷の振動による検知方法を理論的に検討するため、歯面損傷がある歯では、歯面の損傷部分はかみあわないものとし、その部分だけ接触による近寄り(変形)を増加させた。すなわち、歯面損傷に発生した歯車対のばね剛さを変え、運動方程式を立て振動加速度を計算した。さらに、実験において歯車本体の振動加速度を測定し、理論解析により求めた振動加速度と比較することで歯面損傷のある歯車の振動の特徴について検討した。その結果、1 ピッチごとの振動加速度波形において、その最大振幅と標準偏差に歯面損傷の有無により差異があることがわかった。

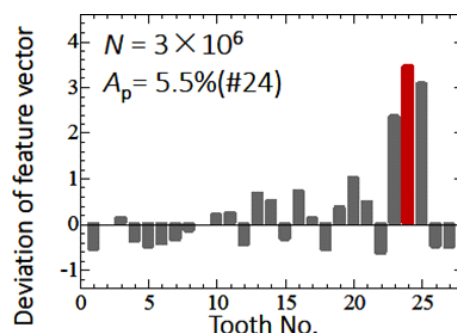
(2) 歯面疲労試験結果

上記の(1)の結果をもとにして、歯面疲労試験において最近傍法を用いて損傷（異常）診断を行った。

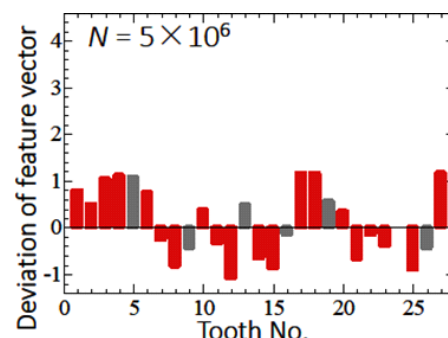
図 1 は、1 ピッチごとの振動加速度波形の最大振幅と標準偏差より求めた特徴ベクトル間の距離である。図の縦軸は、比較しやすいように、特徴ベクトル間距離を正規化して中央値からの偏差をとった値である。そして、赤で塗りつぶした棒は、ピッチング（歯面損傷）が発生したことを示す。ピッチングが発生していない累積回転数 $N=1 \times 10^5$ ときは、特徴ベクトル間距離はランダムに分布している。一方、 $N=3 \times 10^6$ のピッチング面積率 $A_p=5.5\%$ のピッチングがある歯番号 24 の前後で特徴ベクトル間距離が卓越し、ピッチングが発生していない歯と容易に区別できる。そして、ピッチングが進み、大部分の歯にピッチングが発生した $N=5 \times 10^6$ のときは、特徴ベクトル間距離は不規則に分布している。以上より、本研究で提案する診断法では、ピッチングの初期状態であるピッチング面積率 5% のとき、ピッチングが発生を検知可能であり、本研究の主要な目的は達成できたものとする。しかしながら、この結果は、一定速度、一定荷重の実験の結果であり、さらに検討の余地があり、追加の実験が必要である。



(a) $N=1 \times 10^5$ （歯面損傷なし）



(b) $N=2 \times 10^6$
(損傷歯：#24, ピッチング面積率：5.5%)



(c) $N=3 \times 10^6$ （多数の歯にピッチング発生）

図 1 特徴ベクトル間距離

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

貴財団より助成いただいた経費（90 万円）の使用状況は以下のとおりである。

費 目	申請時計画		実 績	備 考
	品 名	価 格		
設備用品費	マルチデータ収集システム一式	540,000	416,124	機種を下位機種に変更
	圧音計一式	140,000	141,955	
消耗品費	試験歯車(3組) 6個	300,000	341,821	研削歯車(2組)4個に変更
	加速度検出器 2個	120,000	0	
旅 費	広島-東京 1泊2日 2回	100,000	0	
合 計		1,200,000	900,000	

概ね申請時の計画どおりに使用したが、備考欄に示すように、マルチデータ収集システムを下位機種に変更した。試験歯車の材料費および加工費の高騰のため、試験歯車を2組(4個)に減じた。さらに、不足がでたため運営費交付金と合算使用している。また、申請時に計上した消耗品費の加速度検出器および旅費は使用していない。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

研究成果で述べたように、ある一定の速度（回転数）および荷重における実験の結果であり、さらに検討の余地がある。そのため、速度、荷重などを変えた実験を引き続き行っている。これらの結果をもとに、実用に供する方法として、発表したいと考えている。また、当初の予定にあった音響情報による異常（損傷）の検知も、データを採ったものの解析には着手していない。これについても、取り掛かりたいと考えている。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

歯面損傷がある歯車の振動の理論的解析については、以下の学術講演会で口頭発表を行った。

- ・ 歯面損傷のある歯車の振動解析，河本隆宏，池条清隆，永村和照，日本設計工学会中国支部平成 29 年度研究発表講演会講演論文集，No.34，(2017)，pp.31-34.

歯面疲労試験における結果については、追加の実験およびその結果の整理が終了しだい、なるべく早い時期に学術誌に投稿また口頭発表を行う予定である。